

PRIMA

Volume 16, Nomor 1, Juni 2019

ISSN : 1411-0296

## ANALISIS PENYIMPANGAN NILAI KONDISI AWAL FLUX NETRON HASIL BACA KANAL DAYA NLW2 PADA SIK REAKTOR NUKLIR KARTINI

<sup>1</sup>Achmad Suntoro, <sup>1</sup>Ikhsan Shobari, <sup>2</sup>Muhamad Subchan, <sup>2</sup>Taxwim, <sup>2</sup>Wagirin

1) Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN

Gedung 71, Kawasan PUSPIPTK Serpong, Tangerang Selatan 15314

2) Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN

Jln. Babarsari, Yogyakarta 6101

[suntoro@batan.go.id](mailto:suntoro@batan.go.id) ; [ishobary@batan.go.id](mailto:ishobary@batan.go.id)  
[msubchan@batan.go.id](mailto:msubchan@batan.go.id) ; [taxwim@batan.go.id](mailto:taxwim@batan.go.id) ;

### ABSTRAK

**ANALISIS PENYIMPANGAN NILAI KONDISI AWAL FLUX NETRON HASIL BACA KANAL DAYA NLW2 PADA SIK REAKTOR NUKLIR KARTINI.** Perawatan dalam sistem instrumentasi meliputi kegiatan untuk mencegah dan memperbaiki kerusakan atau gangguan sistem maupun komponen serta berusaha memperpanjang usia pakainya. Dalam makalah ini akan ditunjukkan sebuah kasus perbaikan pada Sistem Instrumentasi Kendali (SIK) reaktor nuklir Kartini atas penyimpangan pada pembacaan nilai flux netron nya melalui perangkat kanal daya logaritmis NLW2 diawal operasi. Perbaikan diawali dengan melakukan pelacakan untuk menemukan SRRU (Smallest Replaceable Repairable Unit) yaitu penyebab awal terjadinya penyimpangan. Strategi pelacakan dilakukan dengan menentukan beberapa kemungkinan rute pelacakan, dimana setiap rute dibagi menjadi beberapa segmen pelacakan. Jika SRRU tidak ditemukan pada satu rute pelacakan, maka pelacakan dilakukan pada rute lainnya segmen demi segmen hingga SRRU ditemukan. Dari pelacakan yang dilakukan, ditemukan kabel shielding yang menuju ke pre-amp dari NLW2 telah rapuh, sehingga noise gelombang elektromagnetik di lingkungan kabel dapat masuk ke sistem instrumentasi dan menyebabkan penyimpangan. Perbaikan dilakukan dengan melakukan instalasi kabel ber-shielding secara benar. Rupuhnya shielding kabel tersebut terjadi setelah 33 tahun sistem berjalan normal. Hal ini seharusnya tidak terjadi jika kabel bershielding ganda tersebut dipasang secara benar. Kurangnya pemahaman tentang kabel coaxial imunitas tinggi dan lemahnya team Kendali Kualitas ketika proses instalasi berlangsung telah menjadi penyebab penyimpangan tersebut.

Kata kunci : Shielding, kabel, noise, rapuh, perawatan, perbaikan, pelacakan.

### ABSTRACT

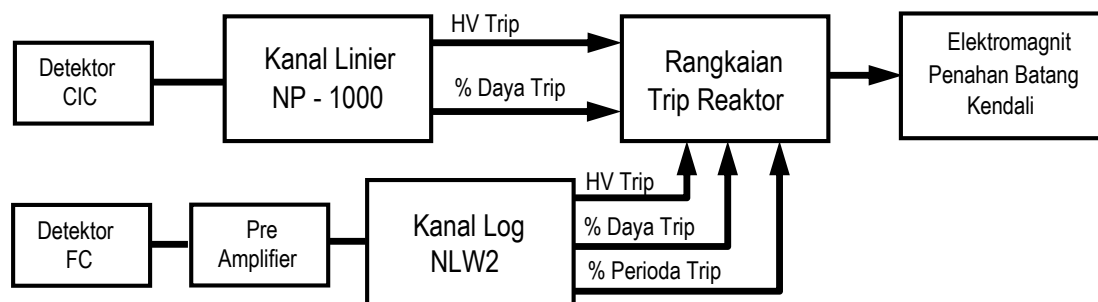
**A DEVIATION ANALYSIS OF INITIAL VALUE OF NEUTRON FLUX READING BY POWER CHANNEL NLW2 IN THE I&C KARTINI NUCLEAR REACTOR.** Maintenance in an instrumentation system comprises activities to prevent and repair any damage or interference to the system including its components as well as efforts to extend the life time. This paper will show a case of an instrumentation & control (I&C) repair for the Kartini nuclear reactor which has a deviation in reading its neutron flux value through its power channel logarithmic NLW2 device during its initial condition operation. The repair is begun by troubleshooting to find out the SRRU (Smallest Replaceable Repairable Unit) which is the initial cause of the deviation. The troubleshooting strategy is begun by determining some possible routes, where each route is divided into several troubleshooting segments. If the SRRU is not found in a chosen route, the troubleshooting is carried out to other routes segment by segment until the SRRU is found. From the troubleshooting done, it was found that the shielding cable leading to the pre-amp of NLW2 was embrittled, so that the electromagnetic wave noises around the cable interfere into the instrumentation system and caused the deviation. Repair has been carried out according to the proper shielding installation rules. The embrittlement of the shielding occurs after 33 years that the system runs normally. This should not occur if such a multiple-shielding cable was treated correctly. The lack of understanding to high immunity coaxial cable and the weakness of the quality control team during the cable installation process have caused such a deviation.

Keywords: Shielding, cable, noise, brittleness, maintenance, repair, tracking.

## 1. PENDAHULUAN

Di Indonesia saat ini memiliki 3 buah reaktor nuklir. Reaktor yang berada di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) diresmikan beroperasinya oleh presiden RI pada 1 Maret 1979 dan diberi nama Reaktor Kartini<sup>[1]</sup>. Reaktor Kartini adalah reaktor penelitian yang dirancang bekerja dengan daya 250kW untuk penelitian, pelatihan dan pendidikan. Reaktor Kartini merupakan reaktor tipe Triga Mark II dengan kolam terbuka dan berpendingin air ringan. Reaktor ini secara umum beroperasi hanya pada jam kerja dengan rata-rata 5 - 6 jam setiap harinya, namun pernah juga dioperasikan selama 100 jam secara kontinyu untuk suatu kegiatan penelitian<sup>[2]</sup>. Telah banyak universitas di Jawa-tengah dan beberapa dari luar Jawa-tengah memanfaatkan keberadaan reaktor nuklir Kartini menjadi bagian dari kegiatan dalam mata pelajaran (praktikum) bagi mahasiswanya, karena reaktor nuklir tersebut memang dirancang untuk memungkinkan kegiatan pendidikan dapat berlangsung.

Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) reaktor Kartini diklasifikasikan terdiri dari: Sistem keselamatan reaktor, Sistem kendali dan pemantauan daya reaktor, dan Sistem informasi proses. Bagan Sistem Keselamatan Reaktor Kartini ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam sistem keselamatan reaktor, parameter keselamatan yang dipertimbangkan adalah: daya reaktor, perioda reaktor, keberadaan sumber neutron standar di dalam teras, dan tegangan tinggi detektor *Fission Chamber* (FC)<sup>[3]</sup>.



Gambar 1. Bagan Sistem Keselamatan Reaktor Kartini<sup>[3]</sup>.

Prinsip *diversity* diterapkan dalam sistem keselamatan reaktor, yaitu adanya dua sistem pemantauan neutron yang berbeda. Pertama sistem NLW2 yang berfungsi sebagai kanal daya jangkauan lebar, yang memantau daya reaktor dari tingkat sumber sampai 110% daya maksimum. Kedua adalah NP1000 yang bertindak sebagai kanal daya linier yang menampilkan persen daya reaktor. Perangkat NLW2 ini mulai digunakan dalam SIK Reaktor Kartini untuk sistem keselamatannya pada tahun 1984 menggantikan perangkat kanal daya jangkauan lebar yang lama.

Perangkat kanal daya NLW2 mengalami gangguan pada tahun 2017, yaitu pada kondisi awal operasinya (START) menunjukkan angka diantara  $10^{-5}$  dan  $10^{-4}$ , yang seharusnya diantara  $10^{-7}$  dan  $10^{-6}$ , dan kondisi ini tidak stabil bisa berubah terkadang normal kembali. Kondisi ini bisa mengganggu sistem penyerapan neutron, jika memang sumber neutron yang terukur diawal operasi tersebut lebih besar dari yang ditetapkan. Gangguan ini disebabkan karena adanya penurunan kinerja (*degradation*) kabel transmisi sinyal yang menuju ke perangkat NLW2. Penurunan kinerja kabel di lingkungan reaktor nuklir dapat dipengaruhi oleh faktor umur, suhu, radiasi materi dan faktor lingkungan<sup>[4-7]</sup>. Penurunan kinerja kabel dalam hal ini adalah gangguan kabel pada bagian isolatornya. Namun demikian, gangguan pada perangkat NLW2 tersebut bukan pada isolator nya tetapi tetapi tetapi pada shielding kabelnya.

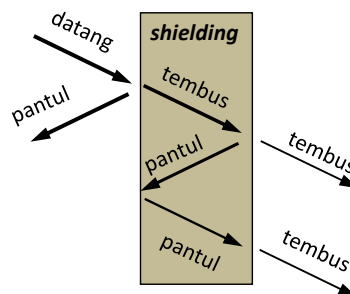
Dalam makalah ini, proses pelacakan untuk menemukan lokasi penyebab gangguan dan proses perbaikannya akan dijelaskan. Kesalahan teknik instalasi kabel telah menjadi penyebabnya, tetapi kesalahan tersebut bukan kesalahan fatal sehingga hanya berakibat turunnya kinerja kabel sebelum waktunya, yaitu setelah 33 tahun

berjalan normal. Turunnya kinerja kabel tersebut berakibat naiknya nilai yang ditampilkan oleh perangkat NLW2, karena tidak mampu lagi menahan *noise* gelombang elektromagnetik di sekitar kabel.

## 2. DASAR TEORI

Gelombang elektromagnetik alam secara alamiah akan ada. Gelombang tersebut dapat berasal dari berbagai sumber di bumi dan luar bumi dengan frekwensi yang berbeda-beda<sup>[8]</sup>. Fenomena alam petir adalah contoh kegiatan alam di luar bumi yang mengeluarkan gelombang elektromagnetik sesaat ketika petir tersebut terjadi. Perkembangan elektronika dan informasi teknologi yang merupakan kegiatan manusia di bumi juga memicu bertambahnya gelombang elektromagnetik di lingkungan. Gelombang-gelombang tersebut bisa menjadi gangguan bagi sistem instrumentasi, mengingat sifatnya yang dapat menginduksikan tegangan atau arus listrik pada rangkaian listrik yang dilaluinya.

*Shielding* pada rangkaian listrik digunakan untuk mencegah gangguan dalam bentuk interferensi sinyal listrik yang berasal dari luar sistem atau dari rangkaian lain di dalam sistem itu sendiri. Dalam hal ini *shielding* terbuat dari logam dalam bentuk yang bermacam-macam. Logam tersebut dapat berbentuk pita yang dibuat melilit melintang (*spiral*) atau membujur (*longitudinal*) sehingga menutupi rangkaian. Bentuk yang paling efektif adalah bentuk tabung atau kotak logam solid yang melingkupi semua rangkaian yang dilindungi, namun demikian bentuk tersebut akan menjadi tidak lentur sehingga untuk kondisi rangkaian tertentu (kabel misalnya) tidak mungkin dilakukan. Oleh karena itu bentuk *shielding* ditentukan juga oleh bentuk fisik rangkaian dan kegunaan serta pola operasionalnya.



Gambar 2. Fenomena gelombang elektromagnetik mengenai *shielding*<sup>[9]</sup>.

Secara umum ukuran keberhasilan suatu *shielding* ditentukan oleh perbandingan antara intensitas medan elektromagnetik yang diukur sebelum dan setelah menggunakan *shielding*, dan dikenal dengan nama efektifitas *shielding*. Fenomena gelombang elektromagnetik ketika mengenai *shielding* ditunjukkan seperti pada gambar 2, yaitu sebagian dipantulkan, sebagian tembus ke dalam *shielding*, sebagian dipantulkan lagi didalam *shielding* tersebut, dan sebagian diteruskan menembus *shielding*. Oleh karena itu efektifitas dari *shielding* ditentukan juga oleh material dari *shielding* disamping oleh bentuk dan tebalnya serta frekwensi dari sinyal pengganggu. Melihat fenomena pada Gambar 2 tersebut, efektifitas *shielding* (ES) secara menyeluruh ditentukan oleh tiga hal yaitu faktor-serap (A), faktor-pantulan (R), dan faktor koreksi perulangan-pantulan (M). Nilai efektifitas *shielding* dihitung menggunakan persamaan (1) dalam satuan decibel<sup>[9]</sup>. Faktor koreksi biasanya diabaikan untuk *shielding* yang memiliki faktor-serap tinggi karena pantulan di dalam *shielding* cukup rendah.

$$ES_{dB} = R_{dB} + A_{dB} + M_{dB} \dots \dots \dots (1)$$

Persamaan (1) merupakan bentuk umum nilai efektifitas *shielding*, detail persamaan matematik yang melibatkan parameter bentuk dan jenis material dijelaskan pada [9, 10, 11]. Dapat disimpulkan bahwa *shielding* satu lapis untuk kabel yang baik harus memiliki karakteristik<sup>[10, 11]</sup>:

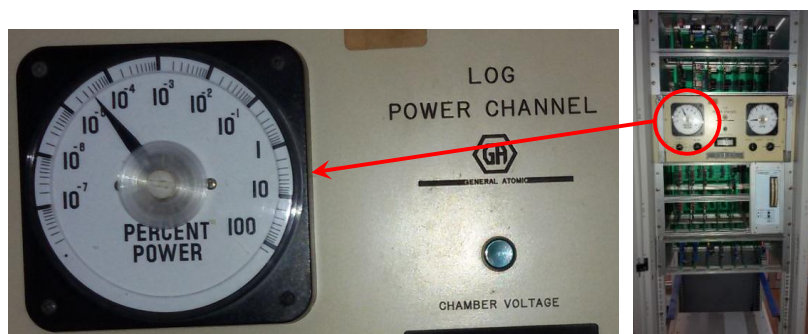
- Konduktifitas tinggi
- Permeabilitas tinggi
- Menutup rapat
- Ringan
- Kuat dan tahan benturan
- Mudah sambungan kelistrikannya
- Lentur
- Tahan karat
- Tebal

Optimasi dari karakteristik tersebut adalah tindakan praktis yang disesuaikan dengan penggunaannya. Untuk *shielding* kabel berbentuk anyaman (*braid*) yang menutup sepanjang kabel adalah bentuk yang paling sesuai (fleksibel), tetapi kelemahan bentuk anyaman tersebut adalah tidak mampu menutup rapat 100% sehingga untuk sinyal gangguan dengan frekwensi tinggi efektifitas *shielding* nya rendah. Untuk mengatasi hal ini biasanya digunakan lapisan *shielding* pita (lembaran) diatas atau dibawah anyaman tersebut. *Shielding* pita tersebut bisa dibuat tipis sehingga kabel masih bisa lentur dan faktor ketebalan *shielding* telah diatas oleh *shielding* anyaman. Kerapatan *shielding* anyaman tergantung pada ketatnya anyaman, jika anyaman kendor akan menambah lubang celah dari *shielding* anyaman tersebut. Dalam dunia industri *shielding* kabel biasa terbuat dari material Pb, Al, Cu<sup>[12]</sup>.

Penuaan (*aging*) merupakan proses alamiah yang tidak bisa dihindari oleh setiap komponen dalam sistem instrumentasi. Faktor penuaan banyak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dimana sistem instrumentasi tersebut berada dan disain untuk mengatasi penuaan tersebut. Waktu lamanya operasi dan kesalahan dalam instalasi juga berpotensi menjadi penyebab penurunan kualitas komponen dalam sistem, sehingga komponen tersebut tidak dapat lagi bekerja sesuai dengan spesifikasinya semula<sup>[2]</sup>. Material polymer yang biasa dibuat sebagai pelapis atau jaket kabel bisa lebih cepat mengalami degradasi karena penuaan (*aging*) akibat paparan radiasi materi di instalasi reaktor nuklir<sup>[6]</sup>, oleh karena itu bagian terluar kabel untuk daerah tertentu dilengkapi dengan spiral logam. Selain sebagai proteksi dari paparan radiasi juga spiral logam tersebut berfungsi juga sebagai *shielding* medan magnet karena memiliki permeabilitas yang tinggi dan proteksi akibat kelembaban lingkungan.

### 3. TATA KERJA

#### 3.1. Pelacakan

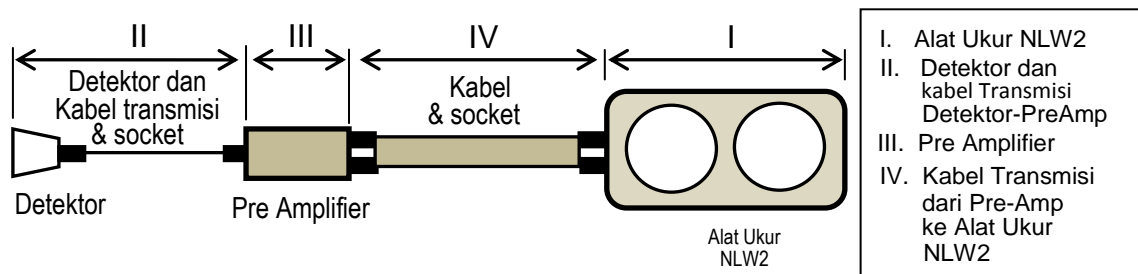


Gambar 3. Kondisi setelah START NLW2 menunjukkan angka diantara  $10^{-5}$  dan  $10^{-4}$ .

Proses pelacakan (*troubleshooting*) adalah melacak untuk menemukan SRRU (*Smallest Repair Replacable Unit*) atau bagian terkecil yang harus diperbaiki atau diganti. SRRU adalah penyebab awal perangkat tidak dapat berfungsi dengan benar,

dalam hal ini adalah penunjukan persen daya reaktor pada perangkat NLW2 yang menunjukkan angka diantara  $10^{-5}$  dan  $10^{-4}$ , yang seharusnya diantara  $10^{-7}$  dan  $10^{-6}$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Banyak kemungkinan lokasi SRRU bisa terjadi pada SIK yang bermasalah. Strategi pelacakan yang digunakan adalah melacak beberapa pola pendekatan dengan rute yang berbeda. Jika pelacakan suatu rute gagal dalam menentukan lokasi SRRU, maka dilakukan pelacakan pada rute lainnya hingga lokasi SRRU dapat ditemukan.

Pendekatan rute pelacakan pertama yang dilakukan adalah melacak rangkaian atau jalur dari detektor ke alat-ukur yang bermasalah tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 yang terdiri dari IV segmen pelacakan. Langkah operasional pelacakan adalah melaksanakan tahapan-tahapan secara urut (skwensial), dimana hasil pelacakan dalam satu segmen menjadi masukan pelacakan segmen berikutnya.



Gambar 4. Pola pendekatan pelacakan (*troubleshooting*) untuk menemukan SRRU.

**I. Pemeriksaan Alat-Ukur.** Pada kondisi awal (START), dilepas atau dicabut socket kabel (saluran transmisi) di input alat-ukur NLW2, dan dilihat hasil pengukuran tanpa sinyal pada alat-ukur. Terlihat bahwa alat-ukur menunjukkan angka  $<10^{-7}$  artinya SRRU tidak berada di alat-ukur, karena tanpa sinyal maka nilainya memang harus  $<10^{-7}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 5.a.



a. tampilan NLW2: tanpa input (segmen-I).



b. Tampilan NLW2: Pre-Amp tanpa input (segmen-II).

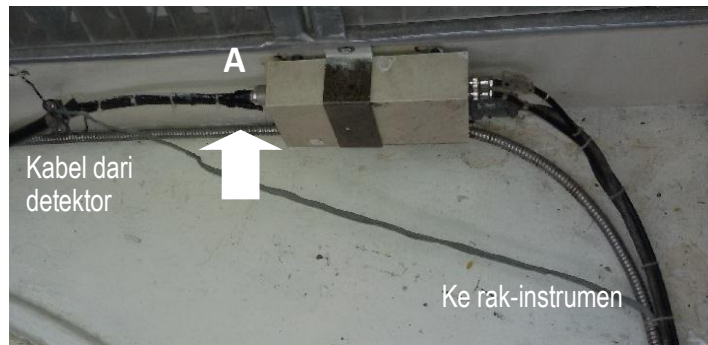
Gambar 5. Hasil tindakan langkah pelacakan segmen I & II.

**II. Pemeriksaan Detektor beserta transmisinya.** Dalam segmen ini seharusnya melepas detektor, sehingga alat-ukur tanpa sumber sinyal tetapi kabel tetap melekat ke bagian input alat-ukur. Tindakan ini untuk melokalisir keberadaan SRRU apakah berada di detektor atau di kabel saluran transmisinya atau di Pre-Amp. Akan tetapi detektor berada di dalam kolam, maka pelacakan pada segmen-II ini dimulai dari melepas konektor / sambungan pada input Pre-Amp, yaitu titik A pada Gambar 6.b. Terlihat bahwa alat-ukur menunjukkan angka  $<10^{-7}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 5.b yang artinya SRRU tidak berada di segmen-I, III, dan IV pada Gambar 4. SRRU dipastikan berada di segmen-II.





a. Detektor di kolam reaktor

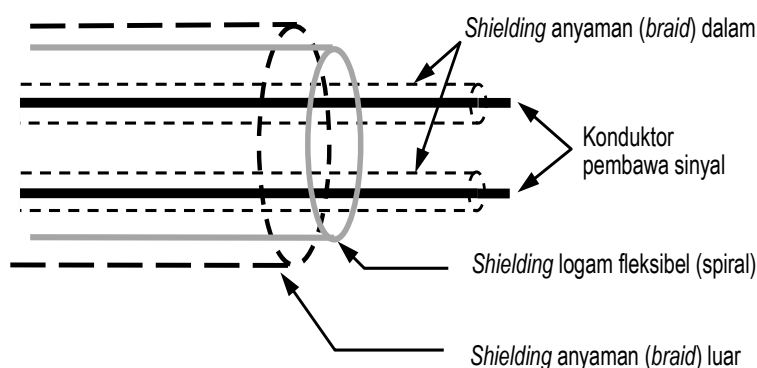


b. Sambungan kabel (*connector*) dari detektor ke rak instrumen.

Gambar 6. Titik A.adalah konektor ke Pre-Amp.

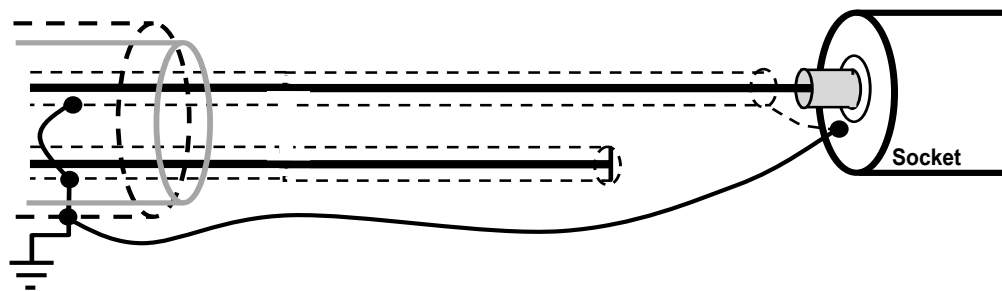
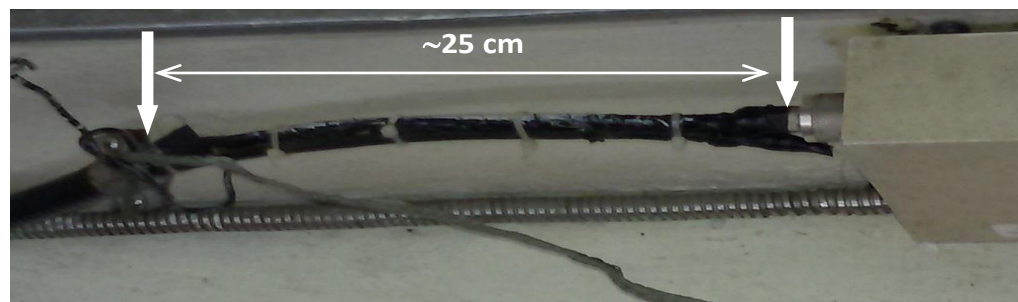
Tidak perlu dilakukan pemeriksaan pada segmen-III dan IV karena SRRU tidak berada di lokasi tersebut, tetapi berada di segmen-II. Oleh karena itu pelacakan di segmen-II dilanjutkan.

- **Pemeriksaan Kabel.** Kabel penghubung dari detektor di kolam reaktor sampai ke titik A pada Gambar 6 menggunakan jenis kabel coaxial dengan imunitas tinggi, yaitu menggunakan *shielding* ganda seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Penggunaan *shielding* ganda tersebut menunjukkan bahwa lokasi dimana kabel berada memerlukan proteksi lebih dari kondisi biasa untuk hal interferensi elektromagnetik dan kondisi lingkungan (kelembaban).



Gambar 7. Struktur kabel penghubung detektor menuju pre-Amp.

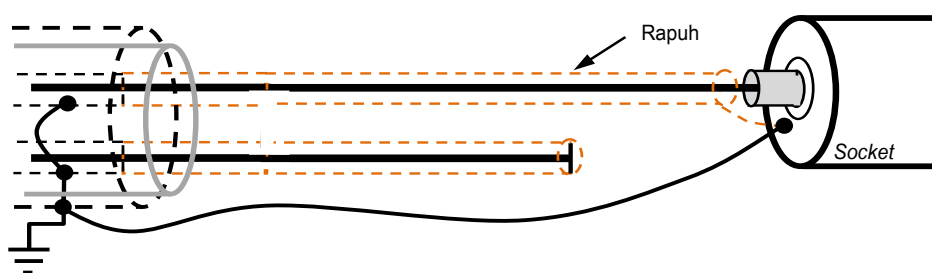
- **Pemeriksaan sambungan socket.** Kondisi instalasi terpasang pada daerah kabel disekitar titik A pada Gambar 6.b ditunjukkan pada Gambar 8.a. Ditemukan sekitar ~25 cm di ujung kabel dari titik A (*socket/connector*) hanya menggunakan *shielding* dalam, sedangkan *shielding* luarnya dikupas (tidak digunakan) seperti ditunjukkan pada Gambar 8.b. Dari dua kabel pembawa sinyal tersebut, hanya satu yang digunakan dan lainnya tidak digunakan.



(b). Rangkaian pengganti (skematik) dari Gambar 8.a.

Gambar 8. Kondisi kabel dan sambungannya disekitar titik A pada Gambar 6.b.

- Ditemukan bahwa *shielding* konduktor pembawa sinyal tanpa *shielding* luar tersebut telah rapuh, seperti ditunjukkan pada Gambar 9, sehingga kabel penghubung sepanjang ~25 cm tersebut menggunakan *shielding* dengan kondisi rapuh. Bentuk fisik (foto) *shielding* kabel yang mengalami degradasi tersebut tidak bisa ditunjukkan karena tidak terdokumentasi. Rapuhnya *shielding* tersebut akan berpotensi merubah kekencangan anyaman *shielding* sehingga memperbesar lobang celah *shielding* dan juga berpotensi menurunkan baik konduktifitas maupun permeabilitas bahan *shielding* sehingga nilai Efektifitas *Shielding* (ES) sepanjang ~25 cm tersebut menjadi turun dari nilai semula.



Gambar 9. Logam *shielding* yang rapuh.

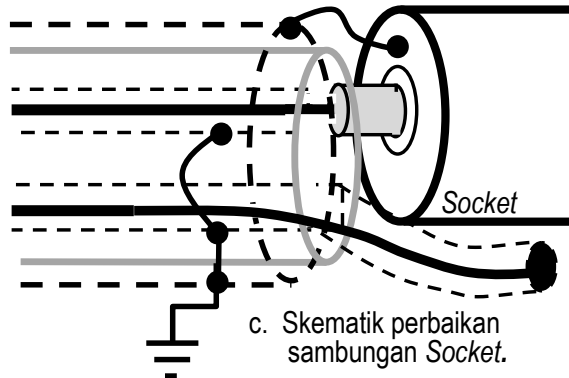
- Kondisi *shielding* seperti pada Gambar 9 tersebut menyebabkan medan elektromagnetik luar (*noise background* dan lainnya) akan meng-induksi arus listrik masuk ke sistem pengukuran NLW2 sehingga menyebabkan penunjukan pada posisi lebih besar dari yang seharusnya yaitu diantara  $10^{-5}$  dan  $10^{-4}$  pada awal operasi. Nilai ini tidak stabil (ber-ubah<sup>2</sup>) tergantung kuat-lemahnya medan elektromagnetik disekitar *sheilding* yang rapuh tersebut.

### 3.2. Tindakan Perbaikan

Perbaikan sambungan kabel ke *socket* dilakukan dengan membuat seluruh kabel hingga ujung *socket* tertutup *shielding* luar kabel, sehingga desain *shielding* ganda yang diterapkan berlaku kembali seperti ditunjukkan pada Gambar 10.b dan c.



a. Proses perbaikan sambungan *socket*.



b. *Socket*-kabel hasil perbaikan dengan *shielding* ganda.

Gambar 10. Perbaikan sambungan kabel ke *socket* nya.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil

Dari perbaikan yang ditunjukkan pada Gambar 10, alat-ukur persen daya NLW2 pada kondisi awal (START) menunjukkan nilai diantara  $10^{-6}$  dan  $10^{-7}$  sesuai dengan SOP operasi Reaktor Kartini, ditunjukkan pada Gambar 11, posisi START siap operasi. Sistim rangkaian perangkat % kanal daya logaritmis NLW2 telah normal kembali.



Gambar 11. Alat-ukur persen daya dan periodenya pada posisi START setelah perbaikan, siap operasi.



#### **4.2. Pembahasan**

Kabel dari detektor FC menuju pre-amp (Gambar 6) berada di atas teras kolam reaktor. Air kolam selalu dijaga volumenya agar tidak pernah berkurang karena sebagai pendingin dan sekaligus perisai radiasi. Oleh karena itu kelembaban udara di lokasi kabel berada tidak rendah. *Shielding* ganda bagian luar kabel dimaksud juga sebagai pelindung atas kelembaban udara terhadap kabel selain sebagai pelindung gangguan gelombang elektromagnetik. Persyaratan desain dari kabel detektor tersebut adalah kabel jenis coaxial imunitas tinggi<sup>[14]</sup> dan direalisasikan menggunakan *shielding* ganda tersebut.

Kejadian penyambungan kabel coaxial *shielding* ganda (imunitas tinggi) ke socket dengan mengupas *shielding* luarnya adalah tindakan yang menyalahi dari spesifikasi desain instalasi kabel yang seharusnya. Diduga hal ini karena untuk mempermudah proses instalasi, mengingat *shielding* luar tersebut keras sehingga menyulitkan dalam penyambungannya ke socket. Pemahaman (level-2) pada taxonomi Bloom<sup>[15]</sup> tentang materi pekerjaan yang dihadapi, dalam hal ini kabel ber-*shielding* ganda, tidak lengkap dimiliki oleh teknisi pemasang kabel tersebut, sehingga berani membuat keputusan yang tidak dia pahami bahwa akan menurunkan keandalan instalasi tidak saat itu, tapi berselang waktu kedepan. Selain itu, kelemahan team kendali kualitas saat proyek pemasangan perangkat NLW2 tersebut berlangsung juga menjadi penyebab terjadinya kesalahan instalasi tersebut, karena seharusnya menolak cara pemasangan yang demikian tersebut.

#### **5. KESIMPULAN**

Proteksi terhadap kemunduran unjuk kerja kabel menggunakan *shielding* ganda terbukti sangat efektif. Kejadian rapuhnya *shielding* tunggal pada kabel *shielding* ganda yang disambung secara tidak benar telah membuktikan bahwa *shielding* ganda mampu memproteksi degradasi *shielding* akibat kelembaban lingkungan selain mencegah gangguan elektromagnetik disekitar kabel. Kesalahan penyambungan *shielding* ganda menjadi *shielding* tunggal berakibat rapuhnya *shielding* tunggal tersebut setelah beroperasi normal selama 33 tahun, sehingga rapuhnya *shielding* kabel tersebut tidak lagi mampu mencegah masuknya noise dari luar kabel. Kesalahan penyambungan terjadi karena kurangnya pemahaman teknisi penyambung kabel terhadap penggunaan *shielding* ganda dan lemahnya team Kendali Kualitas saat instalasi perangkat NLW2 berlangsung saat itu. Kejadian ini merupakan pembelajaran bahwa penurunan unjuk kerja instalasi bukan hanya ditentukan oleh materi / komponen ataupun desain dari instalasi saja, tetapi juga ditentukan oleh tindakan dalam proses instalasinya.

#### **6. UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis sangat berterima kasih kepada saudara Nurhidayat Supriyanto dan Heryuli Aditesna staf Bidang BK3 Sub-Bidang Keteknikan – PSTA BATAN, atas bantuan teknis-nya selama kegiatan pelacakan dan pengukuran dalam proses analisis dan perbaikan ini berlangsung.

#### **7. DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. Suhaemi T, 26-27/2/2003, *Evaluasi Keselamatan Reaktor Kartini Ditinjau Dari Desain Sistem Instrumentasi*, Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir VIII, Jakarta.

- [2]. Wicaksono AS, Syarip, 2018, *Analisis dan Uji Kinerja Operasi Reaktor Kartini Sebagai Sumber Neutron Fasilitas Eksperimen SAMOP*, Risalah Fisika Vol. 2, No. 1, pp 21-24.
- [3]. Ardisasmita S, Syarip, dan Setiawan W, 14-15/7/1999, *Pengujian Masalah Komputer Tahun 2000 Pada Operasi Reaktor Kartini*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah P3TM-BATAN, Yogyakarta.
- [4]. Glass SW, Fifield LS, Dib G, Tedeschi JR, Jones AM, dan Hartman TS, 8/9/2015, *State-of-the-Art Assesment of NDE Techniques for Aging Cable Management in Nuclear Power Plan FY2015*, Pacific Northwest National Laboratory, USA.
- [5]. Glass SW, Jones AM, Fifield LS dan Hartman TS, 16/2/2017, *Frequency Domain Reflectometry NDE for Aging Cables in Nuclear Power Plants*, AIP Conference Proceedings 1806, 080015, Washington.
- [6]. Bowler N dan Liu S, 2015, *Aging Mechanisms and Monitoring of Cable Polymers*, International Journal of Prognostics and Health Management, USA.
- [7]. Villaran M dan Lofaro R, 11/2009, *Condition Montioring Techniques For Electrical Cables*, Brookhaven National Laboratory, Washington DC.
- [8]. Meloni A, Bianchi C, Mele G, Palangio P, *Background Electromagnetic Noise Characterization: The Role of External and Internal Earth Sources*, Annals of Geophysics, 58, 3, 2015, Diunduh: 12 Februari 2019, Sumber: [https://www.researchgate.net/publication/282374707\\_Background\\_electromagnetic\\_noise\\_characterization\\_The\\_role\\_of\\_external\\_and\\_internal\\_earth\\_sources](https://www.researchgate.net/publication/282374707_Background_electromagnetic_noise_characterization_The_role_of_external_and_internal_earth_sources)
- [9]. Avinash, Rai M, Yadav RK, *Characterization of Shielding Effectiveness of General Metallized Structure*, International Journal of Wireless and Microwave Technologies, November 2014, Diunduh: 12 Februari 2019, Sumber: <http://www.mecspress.net/ijwmt>
- [10]. Ogrutan P, Aciu LE, *Electromagnetic Shielding Effectiveness Evaluation For Materials*, International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 3, Issue 4, 2013, pp. 2329-2334, Diunduh: 12 Februari 2019, Sumber: <http://www.ijera.com>
- [11]. Catrysse J, Smedt RD, 1999, *Some Aspects of Shielding Effectiveness Related to Measurements and Simulations*, IEEE International Symposium.
- [12]. Anonim, 10/2014, *Nexans Technical Review*, Paris.
- [13]. Kurek J, Bernstein R, Turner M, *Aircraft Wiring Degradation Study*, National Technical Information Service (NTIS), Springfield, Virginia, Januari 2008, Diunduh: 12 Februari 2019, Sumber: <https://www.d41.org/cms/lib/IL01904672/Centricity/Domain/422/BloomsTaxonomy.pdf>
- [14]. Anonim, 2017, *Fission Chamber For Out-Of-Core Use With Integral Cable*, Photonis Nuecar Instrumentation, Data Sheet CFUG08, Brive.
- [15]. Forehand M, *Bloom's Taxonomy: Original And Revised*, Orey (Ed.), Emerging Perspective On Learning, Teaching, And Technology, 20015, Diunduh: 2 April 2019, Sumber: [http://projects.coe.uga.edu/epltt/index.php?title=Bloom%27s\\_Taxonomy](http://projects.coe.uga.edu/epltt/index.php?title=Bloom%27s_Taxonomy)